



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107086786 A

(43)申请公布日 2017.08.22

(21)申请号 201710231104.7

(22)申请日 2017.04.11

(71)申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 张镇 仝瑞麟 魏熙乐 邓斌

于海涛 刘晨 伊国胜 王江

(74)专利代理机构 天津才智专利商标代理有限公司 12108

代理人 王颢

(51) Int. Cl.

H02M 3/335(2006.01)

H02J 3/12(2006.01)

H02J 3/38(2006.01)

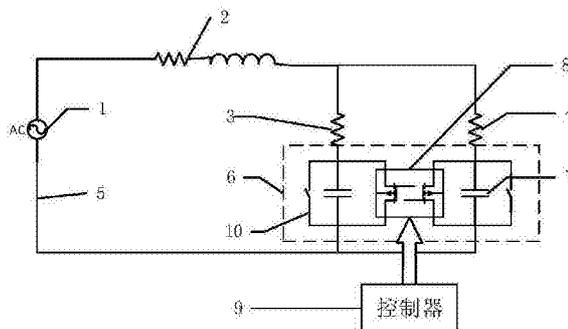
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

双向能量流动的交互式稳压系统及操作方法

(57)摘要

本发明提供一种调节电网电压波动的稳压系统,该系统包括一个关键性负载模块、一个非关键性负载模块、一个双向交互式电力弹簧、多个电压检测模块、多个电流检测模块、多个相位检测模块,所述双向交互式电力弹簧与关键性负载模块和非关键负载模块串联,通过传输导线连接到电网。同时提供一种调节电网电压波动的稳压系统的操作方法。有益效果是该系统不需要储能装置的参与而是通过双向能量流动将非关键负载侧的能量补偿到关键性负载,以维持关键性负载两端电压的稳定。由于可补偿任意相角的电压,同样可矫正关键性两端电压的频率及相位。由于直接向关键性负载提供电压补偿,故对传输线路的阻抗分压要求低,调节范围大,成本低,为未来的分布式发电系统提供合理的电压及能量管理,有利于新能源发电的大规模应用。



1. 一种调节电网电压波动的稳压系统,该稳压系统连接在电网上,其特征是:所述稳压系统包括一个关键性负载模块、一个非关键性负载模块、一个双向交互式电力弹簧、多个电压检测模块、多个电流检测模块、多个相位检测模块,所述双向交互式电力弹簧与关键性负载模块和非关键负载模块串联,通过传输导线连接到电网;所述双向交互式电力弹簧与关键性负载模块和非关键性负载模块串联后通过传输导线与电网链接;所述电压检测模块与关键性负载模块、非关键性负载模块、电网电压、双向交互式电力弹簧的两个低通LC滤波器的电容及双向交互式电力弹簧的大电容并联,所有检测模块的检测信号输出端与双向交互式电力弹簧的控制器相连;所述电流检测模块与关键性负载模块、非关键性负载模块及电网传输线串联,所有检测模块的检测信号的输出端与双向交互式电力弹簧的控制器相连;所述相位检测模块与所有电压检测模块及所有电流检测模块的输出信号相连,检测输出与双向交互式电力弹簧的控制器相连。

2. 根据权利要求1所述调节电网电压波动的稳压系统,其特征是:所述双向交互式电力弹簧包括有相互连接的两个全桥可控电路、两个双向升降压直流-直流变换电路、两个LC低通滤波器、两个继电器、一个滤波电容和一个控制器,所述滤波电容的两端与两个双向升降压直流-直流变换电路的高压端连接,两个双向升降压直流-直流变换电路的低压端分别与两个全桥可控电路的直流侧相连,两个全桥可控电路的交流侧分别与两个LC低通滤波器连接,两个LC低通滤波器的电容分别与关键性负载模块和非关键负载模块串联,并通过传输线连接到电网,两个低通LC滤波器的电容两端分别并联两个继电器或开关断路器。

3. 根据权利要求1所述调节电网电压波动的稳压系统,其特征是:所述非关键性负载模块包含多个并联的不受电压波动影响的负载。

4. 根据权利要求1所述调节电网电压波动的稳压系统,其特征是:所述关键性负载模块包含多个并联的对工作电压的稳定性要求高的负载。

5. 利用权利要求1所述调节电网电压波动的稳压系统的操作方法,其特征是:该方法操作步骤为:

A): 新能源发电的不稳定性导致电网电压波动;电压检测模块检测到电网电压变化并传回双向交互式电力弹簧的控制器;

B): 双向交互式电力弹簧的控制器比较电网电压与参考电压,并确定双向交互式电力弹簧中的两个全桥可控电路与两个升降压直流-直流变换电路的工作模式,如果电网电压低于参考电压,与非关键性负载模块连接的全桥可控电路工作在整流模式,与所述全桥可控电路连接的双向升降压直流-直流变换电路工作在升压模式,与关键性负载模块连接的全桥可控电路工作在逆变模式,与所述全桥可控电路连接的双向升降压直流-直流变换电路工作在降压模式;如果电网电压高于参考电压,与关键性负载模块连接的全桥可控电路工作在整流模式,与该全桥电路连接的双向升降压直流-直流变换电路工作在升压模式,与非关键性负载模块连接的全桥可控电路工作在逆变模式,与该全桥可控电路连接的双向升降压直流-直流变换电路工作在降压模式;

C): 所述双向交互式电力弹簧的控制器依据关键性负载模块的电压、电流及相位差调节输出PWM控制信号的相位及占空比,直到关键性负载模块两端的电压稳定在参考电压值。

双向能量流动的交互式稳压系统及操作方法

技术领域

[0001] 本发明涉及交流电网的运行控制领域,特别是一种双向能量流动的交互式稳压系统及操作方法,高渗透率的新能源发电的供电电网。

背景技术

[0002] 随着可再生能源(如风能、太阳能等)发电技术的发展,其并网容量正在逐年增长。对于大型电网而言,因为其自我调节能力较强,而且可再生能源发电量所占比重还不小,电网稳定性不会受到太大影响。对于容量较小的孤立微电网而言,可再生能源发电量所占比重往往大于15%,如果其不规则变化的输出功率不能与电网负荷相互平衡,会造成电网电压有效值的明显波动。这种交流电压有效值的波动会对电网稳定性和接入微电网的用电设备产生不利影响甚至严重后果。

[0003] 传统的电网电压调节基于储能装置对电能进行补偿。而储能装置会使成本显著增加,并且由于复杂的集中补偿策略,往往难以实现及时补偿。

[0004] 2015年,电力弹簧作为一个新的概念出现,电力弹簧和非关键性负载串联,通过补偿能量以实现关键性负载的电压稳定。目前的电力弹簧分为纯无功补偿和有功无功补偿两类。

[0005] 有功无功补偿同样需要储能装置的支持,由于频繁的充放电,会降低储能装置的使用寿命,增加成本。

[0006] 无功补偿的电力弹簧不需要储能装置,而是补偿纯无功功率,这种电力弹簧的调节范围小,并且对传输线的阻抗有较大依赖,在电网电压过高的情况下,通过增大传输线上的电流使线路阻抗过多地分压,实现电压的调节,会造成多余的损耗。

发明内容

[0007] 为解决上述问题,本发明的目的是提供一种双向能量流动的交互式稳压系统及操作方法,为有功功率和无功功率补偿的解决方案,不仅能实现关键性电压和频率的稳定,而且不需要电池等储能装置并且对线路阻抗的依赖低,可提高新能源发电的利用率及降低成本。

[0008] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是提供一种双向能量流动的交互式稳压系统,该系统包括一个关键性负载模块、一个非关键性负载模块、一个双向交互式电力弹簧、多个电压检测模块、多个电流检测模块、一个相位检测模块,所述双向交互式电力弹簧与关键性负载模块和非关键负载模块串联,通过传输导线连接到电网;所述双向交互式电力弹簧与关键性负载模块和非关键性负载模块串联后通过传输导线与电网链接;所述电压检测模块与关键性负载模块、非关键性负载模块、电网电压、双向交互式电力弹簧的两个低通LC滤波器的电容及双向交互式电力弹簧的大电容并联,所有电压检测模块的检测信号输出端与双向交互式电力弹簧的控制器相连;所述电流检测模块与关键性负载模块、非关键性负载模块及电网传输线串联,所有电流检测模块的检测信号的输出端与双向交互式电力

弹簧的控制器相连;所述相位检测模块与所有电压检测模块及所有电流检测模块的输出信号相连,检测输出与双向交互式电力弹簧的控制器相连。

[0009] 同时提供一种双向能量流动的交互式稳压系统的操作方法。

[0010] 本发明的效果是该系统提供关键性负载和关键性负载之间的双向能量流,可将新能源发电的利用率提高30%,并且成本低廉,无需额外的通讯,有利于新能源发电机微电网的大规模普及。

[0011] (1) 本发明通过关键性负载和非关键性负载之间的双向能量流动补偿关键性负载两端的电压,和传统的方式相比,这种双向交互式电力弹簧可与任意关键性负载和非关键性负载串联,提供一种分布式的电压控制策略,使关键性负载的电压控制更准确且更快速。由于向关键性负载补偿的能量直接来自于非关键性负载,所以不需要额外的储能装置提供能量的中介,可以避免频繁地充放电并且大幅降低成本。

[0012] (2) 本发明可直接向关键性负载补偿有功功率和无功功率,该双向交互式电力弹簧可提供更宽的调节范围,相比器纯无功的补偿措施,该装置可降低补偿电压的有效值,降低器件应力。由于直接向关键性负载补偿电压,该装置在调节电压时不需要线路阻抗分担额外的压降,不依赖线路阻抗的阻抗值和阻抗角。同时可向关键性负载提供任意相角及有效值的电压,该装置可调节关键性负载两端电压的频率。

附图说明

[0013] 图1是本发明的节电网电压波动的稳压系统所在系统的结构图;

[0014] 图2是本发明的节电网电压波动的稳压系统的内部结构图;

[0015] 图3是本发明的节电网电压波动的稳压系统的双向升降压直流-直流变换电路的结构图;

[0016] 图4是本发明的各检测模块的位置及连线图;

[0017] 图5是本发明的工作流程图;

[0018] 图6是本发明不工作或出现故障时的结构图;

[0019] 图7是本发明在电网电压低于参考电压时的工作原理图;

[0020] 图8是本发明在电网电压高于参考电压时的工作原理图。

[0021] 图中:

[0022] 1、供电电网 2、传输线路的阻抗 3、非关键性负载模 4、关键性负载模块

[0023] 5、传输线 6、双向交互式电力弹簧 7、滤波电容 8、开关电路

[0024] 9、控制器 10、继电器 11、LC低通滤波器 12、全桥可控电路

[0025] 13、双向升降压直流-直流变换电路 14、滤波大电容 15、电流检测模块

[0026] 16、电压检测模块 17、相位检测模块

具体实施方式

[0027] 结合附图对本发明的双向能量流动的交互式稳压系统及操作方法加以说明。

[0028] 如图1所示,本发明的节电网电压波动的稳压系统,该稳压系统连接在电网1上,所述稳压系统包括一个关键性负载模块4、一个非关键性负载模块3、一个双向交互式电力弹簧6、多个电压检测模块16、多个电流检测模块15、一个相位检测模块17,所述双向交互式电

力弹簧6与关键性负载模块4和非关键负载模块串联3,通过传输导线5连接到电网1;所述电压检测模块16与关键性负载模块4、非关键性负载模块5、供电电网1、双向交互式电力弹簧6的两个低通LC滤波器11的电容7及双向交互式电力弹簧的大电容并联14,所有检测模块的检测信号输出端与双向交互式电力弹簧的控制器相连9;所述电流检测模块15与关键性负载模块4、非关键性负载模块3及电网传输线串联5,所有检测模块的检测信号的输出端与双向交互式电力弹簧的控制器相连9;所述相位检测模块17与所有电压检测模块16及所有电流检测模块15的输出信号相连,检测输出与双向交互式电力弹簧的控制器9相连。

[0029] 所述双向交互式电力弹簧包括有相互连接的两个全桥可控电路12、两个双向升降压直流-直流变换电路13、两个LC低通滤波器11、两个继电器10、一个滤波电容14和一个控制器9,所述滤波电容的两端与两个双向升降压直流-直流变换电路13的高压端连接,两个双向升降压直流-直流变换电路13的低压端分别与两个全桥可控电路12的直流侧相连,两个全桥可控电路12的交流侧分别与两个LC低通滤波器11连接,两个LC低通滤波器11的电容分别与关键性负载模块4和非关键负载模块3串联,并通过传输线5连接到电网1,两个低通LC滤波器的电容7两端分别并联两个继电器10或开关断路器。

[0030] 所述非关键性负载模块3包含多个并联的不受电压波动影响的负载。

[0031] 所述关键性负载模块4包含多个并联的对工作电压的稳定性要求高的负载。

[0032] 非关键性负载是指不受电压波动影响的负载,常见非关键负载如热水器、空调等。关键性负载是指对电压稳定性要求高的负载,常见关键负载如电脑、心电监护仪等。

[0033] 两个继电器10与LC低通滤波器11的电容并联,当不需要双向交互式电力弹簧工作时或双向交互式电力弹簧出现故障时,通过继电器10将双向交互式电力弹簧短路。

[0034] 如图2所示,双向交互式电力弹簧包括两个LC低通滤波器11、两个双向升降压直流-直流变换电路13、两个全桥可控电路12、两个继电器10、一个大电容14和一个控制器2。控制器通过输出PWM控制控制开关管的工作,以控制低通滤波器11上的电容7的电压有效值和相位。

[0035] 双向交互式电力弹簧中的两个全桥可控电路12可工作在整流模式和逆变模式,对应的双向升降压直流-直流变换电路可工作在升压模式和降压模式。

[0036] 如图3所示,与这两个全桥可控电路12连接的双向升降压直流-直流变换电路13分别对应工作在升压模式和降压模式,用于将能量从一侧转移到另一侧。

[0037] 如图4所示,电压检测模块16分别检测电网1电压、关键性负载模块4两端电压、非关键性负载模块3两端电压、双向交互式电力弹簧6的两个LC低通滤波器11的电容两端电压的有效值并传回双向交互式电力弹簧的控制器9,电压检测模块16并联在要检测电压的负载或电源两端,检测的输出端与双向交互式电力弹簧的控制器9相连。

[0038] 如图4所示,电流检测模块15分别检测电网传输线5上的电流、非关键性负载模块3的电流、关键性负载模块4的电流的有效值并传回双向交互式电力弹簧的控制器9,电流检测模块15串联在要检测电流流过的回路中,检测的输出端与双向交互式电力弹簧的控制器9相连。

[0039] 如图4所示,相位检测模块17分别检测电网电压、传输线电流、关键性负载模块4的电流、非关键性负载模块3两端的电压、非关键性负载模块3的电流、双向交互式电力弹簧的两个LC低通滤波器11电容7两端的电压与关键性负载模块4两端电压的相位差并传回双向

交互式电力弹簧的控制器9,相位检测模块17的输入端与所有电压、电流检测模块15的输出端连接,比较输入电流或电压之间的相位差,检测的输出端与双向交互式电力弹簧的控制器9相连。

[0040] 如图5所示,针对不同电网电压情况的控制策略包括电网1电压低于参考电压、电网1电压高于参考电压及电网电压等于参考电压的情况。

[0041] 如图5所示,双向能量流动的交互式稳压系统的工作原理:(1)通过控制与关键性负载模块4串联的LC低通滤波器11的电容的输出电压的有效值和相位补偿关键性负载模块4两端的电压,使关键性负载模块两端的电压的频率和有效值稳定。(2)通过双向交互式电力弹簧6内部的双向能量通路将关键性负载4侧多余的功率补偿给非关键性负载3或从非关键性负载3侧吸收功率补偿至关键性负载4,从而将电网电压的波动转移至非关键性负载3。

[0042] 两个全桥可控电路12用于将交流侧的电压整流为直流或将直流侧的电压逆变为交流。升降直流-直流变换电路13用于实现直流电压的双向变换,将整流后的电压升压之后存入电容,或将电容的电压降压后逆变输出。中间的大电容14用于临时储能和滤波。实现能量的双向传输。即:从一侧整流吸收能量并在另一侧逆变输出。

[0043] 本发明的双向能量流动的交互式稳压系统操作方法步骤为:

[0044] A):新能源发电的不稳定性导致电网1电压波动;电压检测模块16检测到电网电压变化并传回双向交互式电力弹簧的控制器9。

[0045] B):双向交互式电力弹簧的控制器9比较电网电压与参考电压,并确定双向交互式电力弹簧6中的两个全桥可控电路12与两个升降压直流-直流变换电路13的工作模式,如果电网电压低于参考电压,与非关键性负载模块连接的全桥可控电路12工作在整流模式,与该全桥可控电路连接的双向升降压直流-直流变换电路13工作在升压模式,与关键性负载模块4连接的全桥可控电路12工作在逆变模式,与该全桥可控电路连接的双向升降压直流-直流变换电路13工作在降压模式;如果电网1电压高于参考电压,与关键性负载模块4连接的全桥可控电路12工作在整流模式,与该全桥电路连接的双向升降压直流-直流变换电路13工作在升压模式,与非关键性负载模块3连接的全桥可控电路12工作在逆变模式,与该全桥可控电路连接的双向升降压直流-直流变换电路13工作在降压模式。

[0046] C):所述双向交互式电力弹簧的控制器9依据关键性负载模块4的电压、电流及相位差调节输出PWM控制信号的相位及占空比,直到关键性负载模块4两端的电压稳定在参考电压值。

[0047] 如图6所示,当电网电压等于参考电压或有一侧双向交互式电力弹簧失效时,通过继电器10或开关断路器将双向交互式电力弹簧短路。

[0048] 如图5、图7所示,当电网电压低于参考电压时,与非关键性负载模块3串联的全桥可控电路12工作在整流状态,吸收能量,使非关键性负载模块3两端的电压降低。与关键性负载模块4串联的全桥可控电路12逆变释放能量,使关键性负载模块4两端的电压升高,以实现电压的补偿及功率的补偿。

[0049] 如图5、图8所示,当电网1电压高于参考电压时,与关键性负载模块4串联的全桥可控电路12工作在整流状态吸收能量,使关键性负载模块4两端的电压降低,与非关键性负载模块3串联的全桥可控电路12工作在逆变状态释放能量,使非关键性负载模块3两端的电压升高,实现关键性负载两端的电压稳定

[0050] 对于电网过压和欠压的控制相当于将电网1电压的波动转移至非关键性负载3上以实现关键性负载4电压的稳定。该双向交互式电力弹簧结构同样可通过电压及相位的补偿实现关键性负载4两端电压的频率矫正。

[0051] 双向交互式电力弹簧的有关的数学模型如下：

$$[0052] \quad \vec{V}_g = \vec{I}_i \vec{Z}_i + \vec{V}_{si} + \vec{V}_{ES2} \quad (1)$$

$$[0053] \quad \vec{V}_g = \vec{I}_i \vec{Z}_i + \vec{I}_{ni} \vec{Z}_i + \vec{V}_{ES1} \quad (2)$$

$$[0054] \quad \vec{I}_i = \vec{I}_{ni} + \vec{I}_{ci} \quad (3)$$

$$[0055] \quad \vec{V}_{ES1} \cdot \vec{I}_{ni} = \vec{V}_{ES2} \cdot \vec{I}_{ci} \quad (4)$$

[0056] \vec{V}_g : 电网的电压矢量

[0057] \vec{I}_i : 传输线路的电流

[0058] \vec{V}_{si} : 参考电压

[0059] \vec{I}_{ni} : 非关键性负载的电流

[0060] \vec{V}_{ES1} : 与非关键性负载串联的双向交互式电力弹簧的电压

[0061] \vec{V}_{ES2} : 与关键性负载串联的双向交互式电力弹簧的电压

[0062] \vec{I}_{ci} : 关键性负载的电流

[0063] 方程组的可解性：

[0064] 数学模型中有四个变量： \vec{V}_{ES1} , \vec{V}_{ES2} , \vec{I}_{ni} , \vec{I}_{ci} ，对应四个方程可得出复域上的4个解。所以方程组是可解的。即：关键性负载的电压时可控的。

[0065] 通过双向的能量传输，实现对关键性负载4电压的调节和有功无功功率的补偿不需要额外的储能装置，可避免频繁地充放电，节省成本。同时可提供电压及相角的补偿实现频率的矫正。由于直接向关键性负载提供电压补偿，对线路阻抗2的依赖低，不需要线路阻抗2提供过高的分压，避免多余的损耗。在双向交互式电力弹簧6上并联继电器10或开关断路器以减少双向交互式电力弹簧在故障情况下对电网1供电的影响。本发明可提供高效的分布式电压控制策略和能量补偿策略，有利于可再生能源发电的大规模并网。

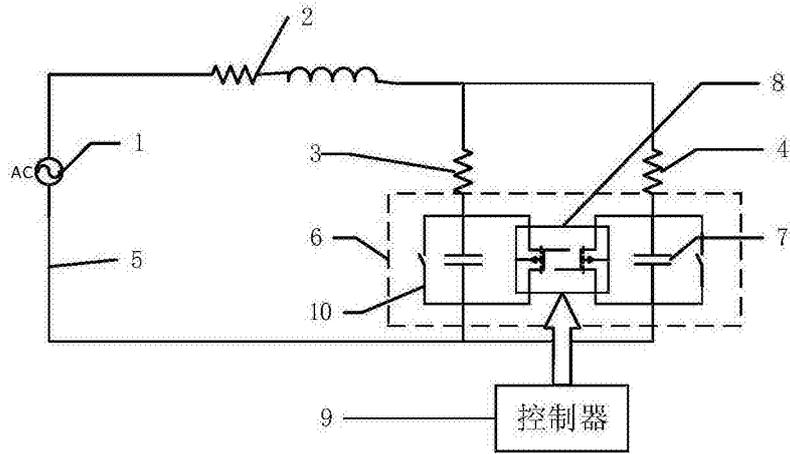


图1

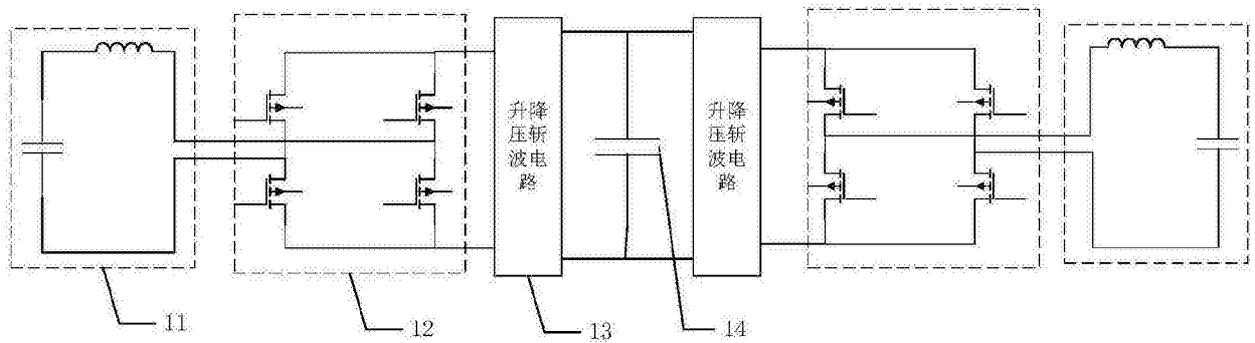


图2

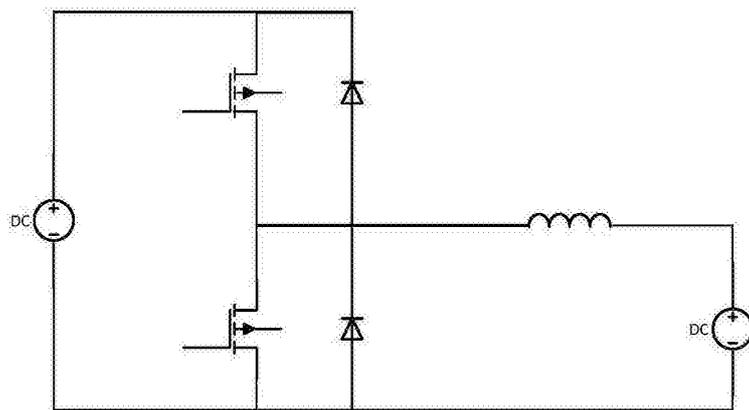


图3

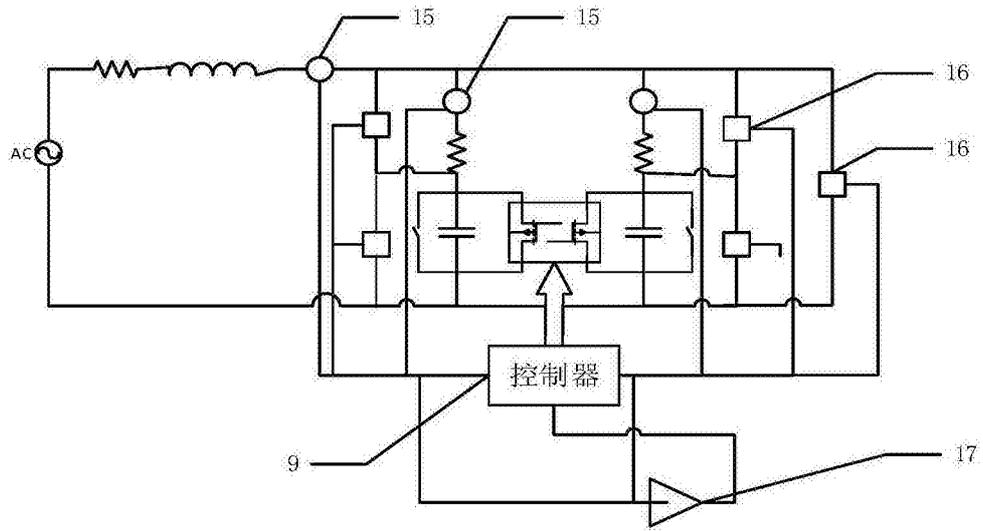


图4

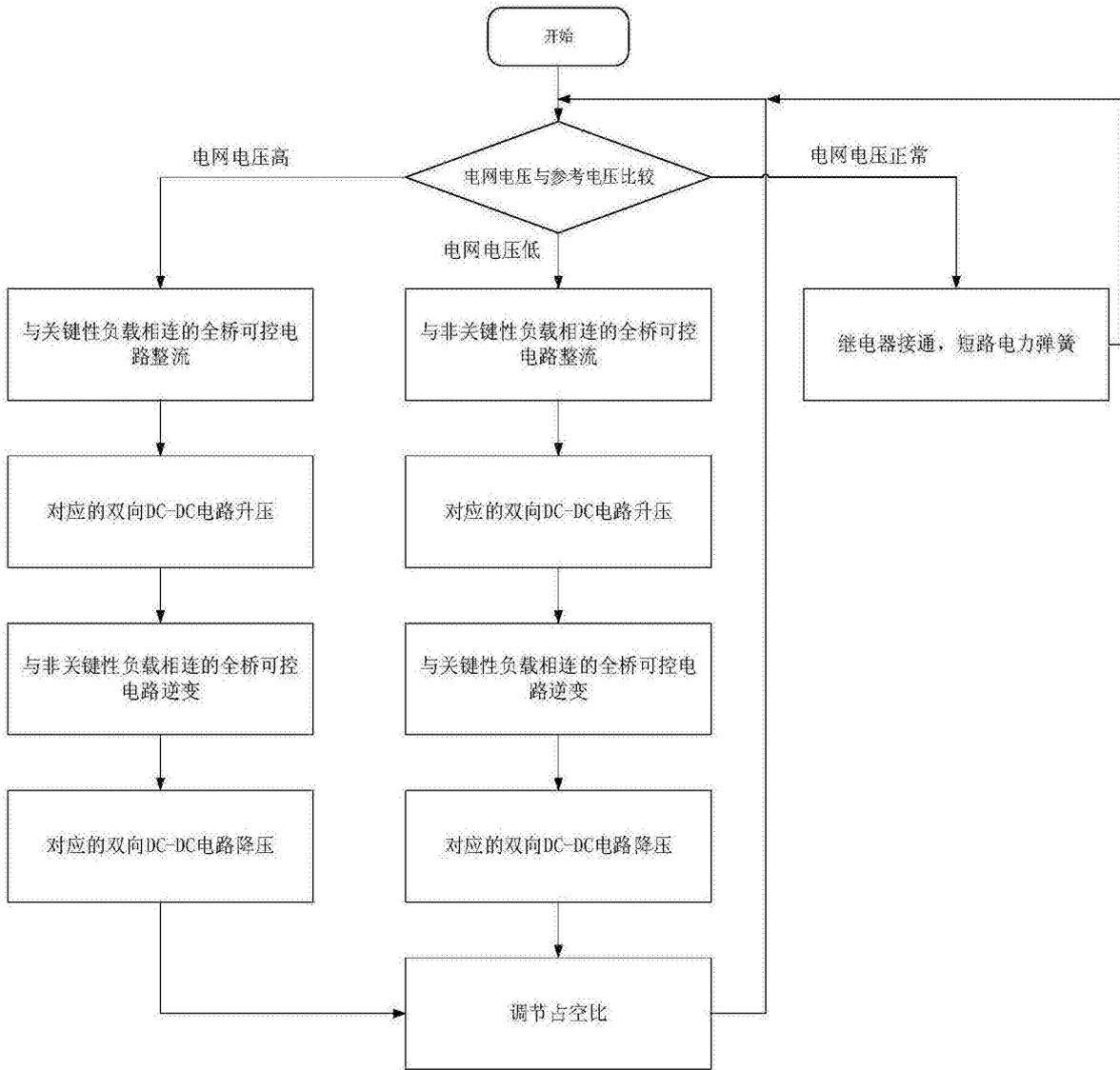


图5

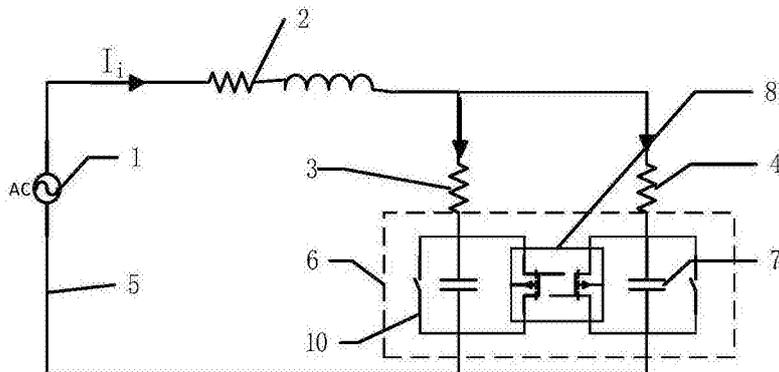


图6

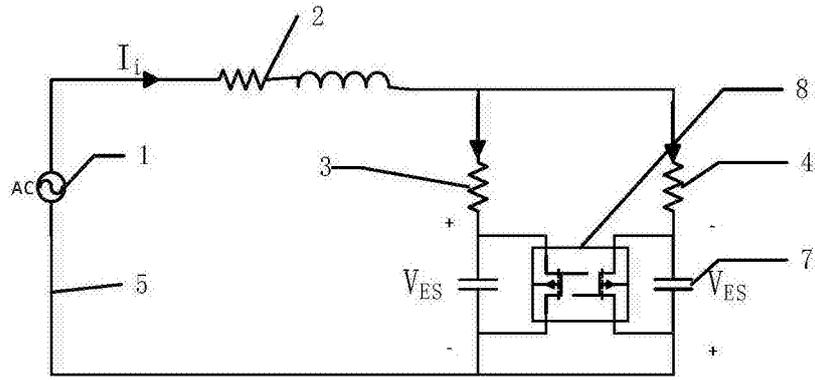


图7

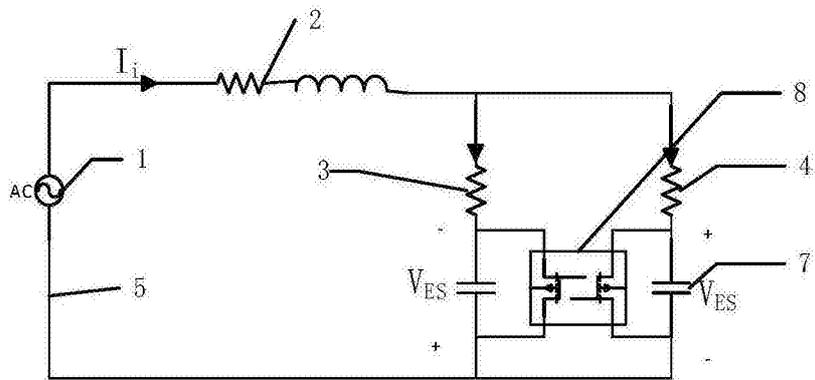


图8